

ワークショップ「降雪に関するレーダーと 数値モデルによる研究 (第10回)」概要報告

中 井 専 人*

ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 (第10回)』が、2012年3月8、9日に防災科学技術研究所 (以下、防災科研) 主催により新潟県長岡市にある同研究所雪氷防災研究センター (以下、雪氷研) 大会議室において開催された。キーワードは「メソ降雪系と降雪粒子の特性 —降雪分布を正確に知るために—」である。

昨冬、今冬と2年連続の大雪となるなど、21世紀に入り、極端な大雪となる冬が目立ってきている。しかし、その中でも特に集中した豪雪となる地域が必ずあり、そこで雪氷災害が多発する。雪氷災害を正確に予測するためには、降雪の量と質、すなわち雪片が霰か、また乾雪か湿雪かを知る必要があるが、その定量的な理解は未開拓に近い分野と言って良い。メソ降雪系の構造・発達と降雪粒子の特性は不可分なものと考えられ、これらについて議論をすることにより、降雪分布形成についての理解と予測の進展につなげることが、今回のワークショップ開催の主旨である。

プログラムは3セッション12件の発表で構成され、1件あたりの時間は質疑込み30分と、前回同様、十分とは言えないまでも議論のできる長さを確保した。参加者は前回よりも7名増えて40名となり、それぞれの発表内容、またワークショップの主旨に対して深みをもたらす討論が行われ (第1図)、ひとつの節目である第10回にふさわしい有意義なワークショップにできたと感じている。プログラムと要旨集は防災科研の雪氷研 ホーム ページ <http://www.bosai.go.jp/seppyo/> (2012年3月12日閲覧) から見るできるので参

照していただければ幸いである。以下、各セッションの概略を述べる。

セッション1は「降雪粒子とQPE」と題し、偏波レーダーなどによる降雪観測と地上降雪粒子観測やHYVIS観測との比較、降雪粒子の散乱特性やモデリングに加えて、現業レーダー観測の誤差評価やレーダーシミュレーターまで、降雪粒子の特性と降雪の定量観測につながる話題が集まった。篠田太郎 (名古屋大学地球水循環研究センター) は、北陸地方で観測された偏波パラメータと地上における固体降水粒子の特性との比較について発表した。水平・垂直偏波のレーダー反射因子差 Z_{dr} は、雪片では (dB 表記で) プラスと言われているが、事例解析をもとに必ずしもそうではない可能性を示し、落下姿勢などを考慮する必要があることを指摘した。Woosub Roh (東京大学大気海洋研究所) は NSW6 を用いた全球モデル NICAM で再現した熱帯域のクラウドクラスターに、衛星シミュレーター SDSU を適用した。NSW6 では



第1図 セッションにおける討論の様子。

* Sento NAKAI, 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター。

TRMM 観測に比べて高い降雨頂が多すぎるバイアスがあったが、降雪粒子成長モデル SGM を用いたパラメタリゼーションにより雪片併合過程の表現が良くなるなどの改善がなされることを示した。尾上万里子（名古屋大学地球水循環研究センター）は、X バンド偏波レーダーと雲粒子ゾンダを用いた梅雨期沖縄域における層状性降水域の観測結果を発表した。高度 5.25–5.5 km では柱状氷晶、高度 5.75–6 km では板状氷晶と鼓型氷晶が卓越し、樹枝状結晶や雲粒付きの氷晶は観測されなかった。この高度では $Z_{dr} \sim 0.5$ dB、偏波間位相差の距離微分 $K_{DP} \sim 0.3$ が観測され、これらは観測された卓越氷晶と整合的であった。

本吉弘岐（防災科研雪氷防災研究センター）は MRR と雪氷研 FSO の地上降水粒子観測とを比較した結果を発表した。同じ降水強度 R に対して、卓越降水粒子が雨、みぞれ、あられ、あられ状雪、雪片の順でレーダー反射率 η が減少する傾向がみられたが、同じ降水種の中では $\eta-R$ 関係の粒径などによる差異は見いだせなかった。三隅良平（防災科研水・土砂防災研究ユニット）は雪片の含水率観測とそのモデル化について述べた。降水の液水率（全降水強度に対する液体水の比率）、雨水率（全降水強度に対する雨粒子の比率）等を定義し、雪片含水率計（スガ試験機製）を用いた FSO における観測から実験式を求め、無次元の降雪落下シミュレーションでその結果がおおむね再現できることを示した。板戸昌子（長岡技術科学大学環境・建設系）は、冬季山岳域のレーダー降水量の誤差についてマイクロ波減衰の水平分布を考慮した検討結果を発表した。山岳地域などでは地上降水量に比べて現業のレーダー降水量が著しく少ないことがあるが、その誤差要因は電波の減衰とそれに対する現業レーダー処理の補正誤差、合成処理等による誤差に分けられる。マイクロ波透過率（ $1 -$ 減衰率）を導入した検討により、減衰については現状のデータに過補正があること、減衰以外の誤差要因は降水強度によって異なる大きさを持つことを指摘した。幾田泰醇（気象庁予報部数値予報課）は、データ同化のための反射強度シミュレーションと雲物理過程の特徴について述べた。数濃度を予報変数とせず数濃度や切片パラメータを気温や混合比の関数として診断する 1.5 モーメントスキーム（1.5M、以下、1M、2M も同様）について調査した結果、1M 相当の計算量で 2M 相当の計算結果が得られ、1M の反射強度の予報誤差は軽減された。また、豪雨事例に対するレーダー反射

強度同化実験では降水予報に改善が見られることを示した。

セッション 2 は「降雪系の特性」と題し、線状、渦状などの降雪系の観測、およびモデル実験の話題が提供された。佐々木佳明（秋田県立大学生物資源科学部）は秋田大学が導入し秋田県立大学に設置された局地気象観測用ドップラーレーダー観測について紹介した。最大探知距離 60 km、仰角 2.2 度で 2011 年 12 月 7 日から 2012 年 2 月 15 日まで連続観測したデータから降雪系分類を行い、L モード、T モード線状降雪系による降雪が多く、渦状降雪系に伴う降雪は少なかったことを示した。また、メソ γ スケール渦状降雪雲の観測事例を紹介した。小林正男（新潟地方気象台）は、柏崎から入広瀬にかけての線状エコーによる降雪について、5 事例の解析をもとに 2 タイプに分けた。タイプ 1 は北側の相対的に弱い西北西の一般風と南側の内陸からの陸風との収束によるものであり、タイプ 2 は北側の北西の一般風と、南側の富山付近の地形により変形された南～南西風との収束によるものである。それぞれについて、発生から解消までの実況監視時の着目点がまとめて示された。荒木健太郎（銚子地方気象台）は、冬季日本海で発生する渦状擾乱の発達過程、特に下部境界の影響の評価について述べた。対象は JPCZ から発生、南東進し北陸地方に暴風雪をもたらした暖気核構造を持つ MBSD（Meso-Beta-Scale vortical Disturbance：メソ β スケール渦状擾乱）である。感度実験の結果をもとに、凝結熱が直接的に MBSD の発達に寄与していること、時間経過とともに海面からの熱フラックスの影響が渦の環境場を変えること、海面水温分布が熱フラックスの供給や傾圧性を通して MBSD の発達に影響することを示した。渡邊俊一（東京大学大学院理学系研究科）は、JPCZ に伴う渦に関する JMA-NHM のシミュレーション解析結果を発表した。2010 年 12 月 30 日に発生した渦状擾乱の発達は、渦度が増加（シア帯形成期）、増加が止まる（発達抑制期）、再びゆっくりと増加（発達期）、急激に増加（急発達期）、ほぼ定常状態（成熟期）の過程に分けられ、それぞれの過程で働くプロセスについて考察がなされた。特に、東西風の鉛直シアによる水平シア不安定波の発達抑制について、発達抑制期には働き、急発達期にはあまり働かなかったと考えられることが述べられた。加藤輝之（気象庁予報部数値予報課）は、JMA-NHM が表現する日本海上の対流混合層の構造について発表した。地上付近での降雪量は

どのモデル設定でもほとんど変わりはないが、雪の鉛直プロファイルはモデル分解能、積雲対流パラメタリゼーションK-Fスキームの有無、境界層過程がMYNNスキーム（Nakanishi and Niino 2009）かDeardorffスキーム（Deardorff（1980）による渦拡散モデルを用いた乱流スキーム）かにより異なった。観測で見られる最下層の絶対不安定層がDeardorffでは再現されたがMYNNでは表現されず、これが雲水量ピークの大きさ、霰の生成効率を通して上空の降水量の差異となっていたと述べた。

総合討論において、偏波パラメタとして観測された降雪粒子をモデルで表現されている降水種とどのように対応付け、またどうやって同化したら良いかという問題点が尾上真理子から提示され、これを中心として議論が行われた。降雪粒子観測、レーダー、モデルで表現されているものはそれぞれ異なるので、直接対応づけるのは容易ではない。筆者は、Misumi *et al.*（2010）で使われているような回転楕円体を考え、散乱計算を通した偏波パラメタの解析、モデルの混合比と粒径分布、降水粒子観測のそれぞれについて、如何に等価な回転楕円体を見つけるかという問題に帰着させるという案を述べたが、これもひとつの考え方に過ぎない。具体的な手段としては、衛星シミュレーターの地上レーダー版の開発を進めていく中で偏波パラメタをとりこんでいく可能性を篠田太郎が指摘した。降雪に関して偏波パラメタを利用して行くにはまだ課題が多いものの、降雪粒子について電波の散乱まで踏み込んで問題意識を共有できたことは、今後の研究の進展や協力体制に期待が持てるものであり、今回のワークショップの大きな成果であると感じた。

セッション終了後、山古志地区の防災科研雪崩監視サイト、雪崩対策状況、森林総合研究所十日町試験地、津南等アメダス観測点を見学するツアーを開催した（第2図）。今冬期は豪雪であったが直前に暖かい日が続いたため、比較的新しい全層雪崩の状況を見ることができた。また、雪崩防止柵や、除雪状況（第3図）、積雪深278cmのアメダス観測点（第4図）なども見ることができた。

今回のワークショップは、節目となる第10回の開催であった。主催者に時間の余裕がなく特別なことは何もできなかったが、内容的に、第10回にふさわしいまとまりのあるものとなった。ひとえに、講演者を始めとした全ての関係者の方が積極的に関わって下さったおかげである。過去の報告等については第9回概要報



第2図 ツアーにおける雪氷研究者による解説。



第3図 ツアー中に見ることができた豪雪対応の除雪状況。



第4図 津南アメダス観測点。少し離れたところにある、除雪でできた雪山の上から眺めた。積雪深は278cm。

告(中井 2011)を参照していただきたい。前述の雪氷研ホームページにも第2回以降のプログラムと講演要旨(一部)があるので興味のある方はアクセスしていただくと幸いである。次回第11回は、時期を早めて秋頃の開催を検討している。多数のご参加をいただくとありがたいと考えている。

最後になりましたが、お忙しいなか、中身の濃い講演と有意義な討論を頂いた講演者、参加者の皆様、突然の座長を快くお引き受けいただいた名古屋大学の尾上万里子さん、気象庁の加藤輝之さん、防災科学技術研究所の石坂雅昭さん、またワークショップの実施を様々な面で支えていただいた佐藤 威センター長はじめ雪氷防災研究センターの皆様には厚く御礼申し上げます。また、見学ツアー実施にあたってお世話になりました各位にも御礼を申し上げます。このワークショップは防災科学技術研究所プロジェクト研究『高度降積雪情報に基づく雪氷災害軽減研究(研究代表者:中井専人)』の一環として行われました。

略語一覧

FSO: Falling Snow Observatory 雪氷研にある2重防風ネットを備えた降雪粒子観測施設
 HYVIS: Hydrometeor Video Sonde 雲粒子ゾンデ(水野ほか 1991)
 JMA-NHM: Japan Meteorological Agency NonHydrostatic Model 気象庁非静力学モデル
 JPCZ: Japan-Sea Polar-Airmass Convergence Zone 日本海寒帯気団収束帯
 K-Fスキーム: Kain-Fritsch 対流スキーム 鉛直カラム内の仮想的な一組の対流を考えた積雲対流パラメタリゼーション
 MRR: Micro Rain Radar ドイツ METEK 社製小型鉛直固定ドップラーレーダー
 MYNN: Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Nakanishi and Niino (2009) によるレイノルズ平均乱流モデル

NICAM: Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model 東京大学と海洋研究開発機構が開発されている全球雲システム解像正二十面体格子モデル
 NSW6: NICAM Single-moment Water 6 Lin タイプ (Lin *et al.* 1983) のスキームを簡略化した NICAM の 1 モーメント雲微物理スキーム
 QPE: Quantitative Precipitation Estimation 定量的降水量推定
 SDSU: Satellite Data Simulation Unit 名古屋大学と NASA/GSFC で開発されている衛星シミュレーター
 SGM: Snow Growth Model 降雪粒子粒径分布の鉛直方向の変化を求める物理モデル
 TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星(降雨レーダーを初めて搭載した衛星)

参考文献

Deardorff, J. W., 1980: Stratocumulus-capped mixed layers derived from a three-dimensional model. *Bound.-Layer Meteor.*, **18**, 495-527.
 Lin, Y.-L., R. D. Farley and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1065-1092.
 Misumi, R., A. Hashimoto, M. Murakami, N. Kuba, N. Orikasa, A. Saito, T. Tajiri, K. Yamashita and J.-P. Chen, 2010: Microphysical structure of a developing convective snow cloud simulated by an improved version of the multi-dimensional bin model. *Atmos. Sci. Lett.*, **11**, 186-191.
 水野 量, 松尾敬世, 村上正隆, 山田芳則, 1991: 雲粒子ゾンデの開発. *天気*, **38**, 5-9.
 中井専人, 2011: ワークショップ「降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第9回)」概要報告. *天気*, **58**, 413-415.
 Nakanishi, M. and H. Niino, 2009: Development of an improved turbulence closure model for the atmospheric boundary layer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 895-912.